

PENILAIAN KAMERA DIGITAL BUKAN METRIK UNTUK TUJUAN
PENGUKURAN APLIKASI PERINDUSTRIAN

NORDALIZA BINTI ZULKIFLI

Tesis ini dikemukakan
sebagai memenuhi syarat penganugerahan
Ijazah Sarjana Sains (Geoinformatik)

Fakulti Geoinformatik dan Harta Tanah
Universiti Teknologi Malaysia

OKTOBER 2012

DEDIKASI

*Untuk ayah dan ibu
serta keluarga tersayang*

PENGHARGAAN

Dengan Nama Allah Yang Maha Pemurah dan Maha Penyayang

Alhamdulillah, syukur kehadiran ilahi kerana dengan izinNya memberikan semangat kepada saya dalam menyiapkan tesis ini. Pertamanya, saya ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada Prof. Madya Dr. Hj. Anuar Bin Hj. Ahmad sebagai penyelia projek di atas segala bimbingan dan tunjuk ajar serta dorongan dan sokongan yang telah diberikan sepanjang tempoh penyelidikan ini diselesaikan.

Penghargaan turut diberikan kepada semua pihak yang banyak membantu saya dalam membekalkan sumber maklumat yang diperlukan dalam menjalankan penyelidikan ini terutamanya kepada Prof. Madya Dr. Suhaimi dan jurutera dari Makmal Aeronautik yang banyak membantu dalam perolehan data.

Sekalung budi juga diberikan kepada kedua ibubapa dan ahli keluarga yang sentiasa memberikan dorongan serta sokongan kepada saya. Tidak lupa, ucapan terima kasih diucapkan kepada semua rakan yang banyak menghulurkan bantuan. Penghargaan juga ditujukan kepada semua yang terlibat sama ada secara langsung atau secara tidak langsung yang membantu menjayakan penyelidikan ini.

ABSTRAK

Fotogrametri Jarak Dekat (FJD) berkembang pesat seiring dengan peredaran dan perkembangan teknologi dalam pelbagai bidang. Aplikasi FJD adalah suatu prosidur kerja pengukuran yang melibatkan beberapa siri proses pengimejan suatu objek samada menggunakan kamera digital metrik atau kamera digital bukan metrik. Kedua-dua jenis kamera digital ini mempunyai perbezaan dari aspek kestabilan parameter dalamannya. Kajian keupayaan penggunaan kaedah FJD dalam pengukuran aplikasi perindustrian diuji berdasarkan penggunaan kamera digital, perisian dan juga ketepatan pengukuran. Penggunaan kamera digital bukan metrik dilihat semakin meluas dan mudah diperolehi dalam pelbagai jenis, model, bentuk, format, jenis penderia dan resolusi. Bagi mendapatkan hasil pengukuran yang tepat dan berkualiti, kamera digital yang digunakan perlu dikalibrasi. Sebuah kamera digital metrik dan dua buah kamera digital bukan metrik dikalibrasi menggunakan bingkai kalibrasi serta diproses dengan perisian FJD. Kaedah kalibrasi yang digunakan adalah *self-calibration* bagi mendapatkan koordinat imej titik sasaran pada bingkai kalibrasi. Disamping itu, kestabilan parameter dalaman ditentukan juga melalui proses kalibrasi ini. Setelah itu, kamera digital dan perisian FJD ini diuji dan hasil yang terbaik digunakan bagi menjalankan proses pengambilan imej digital dari titik sasaran pantulan-retro yang diletakkan pada model kereta Persona pada skala 1:4 dan kereta Persona sebenar bagi aplikasi perindustrian. Hasil koordinat dan nilai pengukuran jarak yang diperolehi dari kamera digital yang telah dikalibrasi dibandingkan dengan hasil yang diperolehi dari kaedah pengukuran geodetik dan pengimbas laser untuk menentukan ketepatan pengukuran. Hasil kajian ini menunjukkan bahawa ketepatan pengukuran yang diperolehi adalah kurang dari $\pm 0.600\text{mm}$ bagi kedua-dua objek kajian. Kajian ini membuktikan bahawa kaedah FJD yang menggunakan kamera digital bukan metrik boleh digunakan dalam aplikasi perindustrian.

ABSTRACT

Close-range Photogrammetry (CRP) grows rapidly in line with the changing and the development of technology in various fields. The application of CRP is a method of measurement, which involves a process of imaging an object using digital camera either metric or non-metric. Both type of cameras have different internal parameters on the stability aspect. Capability study on the usage of CRP in industrial application tested based on the uses of digital cameras, software and measurement accuracy. The uses of digital camera are widespread and it is readily available in various types, models, formats, sensor type and resolution. To obtain accurate and quality results in measurement, a digital camera has to be calibrated. A metric digital camera and two non-metric digital cameras were used and calibrated using a calibration plate, and processed using CRP software. Calibration method used is the self-calibration to obtain the coordinate of the target point on the calibration plate. A part from that the stability of the internal parameters are determined through the process of this calibration. Then the digital cameras and software were tested and the best results were used for carrying out digital image acquisition process of the retro-reflective target placed on the model of Persona car which in a scale of 1:4 and the real Persona car for industrial applications. The produced coordinates and measured distances obtained from the calibrated digital camera were compared with the results obtained through the measurement of geodetic and laser scanning to determine the measurement accuracy. The result shows that the measurement accuracy obtained is less than $\pm 0.600\text{mm}$ for both study objects. This study could proves that the CRP method which utilised non-metric digital camera can be employed in the industrial applications.

KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
	JUDUL	i
	PENGAKUAN	ii
	DEDIKASI	iii
	PENGHARGAAN	iv
	ABSTRAK	v
	ABSTRACT	vi
	KANDUNGAN	vii
	SENARAI RAJAH	xi
	SENARAI JADUAL	xvi
	SENARAI LAMPIRAN	xviii
 1	 Pengenalan	
	1.1 Pendahuluan	1
	1.2 Penyataan Masalah	3
	1.3 Tujuan Kajian	6
	1.4 Objektif Kajian	6
	1.5 Skop Kajian	7
	1.6 Metodologi	8
	1.7 Kepentingan Kajian	10
	1.8 Susun Atur Tesis	10

2 FOTOGRAMETRI JARAK DEKAT

2.1 Pendahuluan	12
2.2 Sistem Fotogrametri	13
2.2.1 Perolehan Data	15
2.2.2 Pemrosesan bagi tujuan Penilaian Data	17
2.3 Fotogrametri Jarak dekat	20
2.3.1 Kelebihan Fotogrametri Jarak Dekat	22
2.4 Penyelesaian Umum bagi Fotogrametri Jarak Dekat	23
2.5 Fotogrametri Jarak Dekat bagi Aplikasi Perindustrian	27
2.6 Aplikasi lain bagi Fotogrametri Jarak Dekat	35
2.6.1 Bidang Perubatan	36
2.6.2 Bidang Senibina dan Arkeologi	38
2.6.3 Bidang Kejuruteraan	39
2.7 Penggunaan Kamera dalam Fotogrametri Jarak Dekat	40
2.7.1 Kamera Metrik	41
2.7.2 Kamera Bukan Metrik	46
2.8 Definisi Imej Fotogrametri Digital	48
2.8.1 Fotografi Digital	49
2.8.2 Carakerja Kamera Digital	50
2.8.3 Penderia Kamera	51
2.8.4 Istilah dalam Imej Digital	54
2.8.5 Pengukuran Fotogrametri Digital	56
2.8.6 Penggunaan Imej Digital	57
2.9 Rumusan Bab	69

3 KALIBRASI KAMERA

3.1 Pendahuluan	60
3.2 Parameter Kamera	62
3.2.1 Jarak Fokus	62
3.2.2 Kedudukan Titik Utama	64
3.2.3 Herotan Jejarian	65

3.2.4 Herotan Pemusatan	68
3.3 Kaedah Kalibrasi Kamera	70
3.3.1 Kaedah Kalibrasi <i>On-The-Job</i>	70
3.3.2 Kaedah <i>Analytical Plumb-Line</i>	71
3.3.3 Kaedah <i>Direct Linear Transformation</i>	73
3.3.4 Kaedah <i>Self- Calibration</i>	74
3.4 Pelarasan Blok Ikatan	77
3.5 Rekabentuk Bingkai Kalibrasi	79
3.6 Sasaran Pantulan-Retro	80
3.7 Palang Skala	83
3.8 Pengimbasan Laser	84
3.7.1 Kategori Pengimbas Laser	85
3.9 Pengukuran Geodetik	87
3.10 Rumusan Bab	89

4 METODOLOGI

4.1 Pendahuluan	91
4.2 Fasa Pertama	93
4.2.1 Objek Kajian	93
4.2.1.1 Bingkai Kalibrasi	94
4.2.1.2 Model Kereta Persona Skala 1:4	97
4.2.1.3 Kereta Persona Sebenar	98
4.2.2 Peralatan Kajian	99
4.2.2.1 Kamera Digital	99
4.2.2.2 Alat <i>Total Station</i>	101
4.2.2.3 Pengimbas Laser Faro Focus3D	102
4.2.3 Perisian Kajian	104
4.2.3.1 Perisian Australis	104
4.2.3.2 Perisian PhotoModeler	106
4.3 Fasa Kedua	108
4.3.1 Kaedah Pengukuran Geodetik	108
4.3.2 Kaedah Pengimbasan Laser Faro Focus3D	110

4.3.3 Pengambilan Imej Menggunakan Kamera Digital	113
4.4 Fasa Ketiga	116
4.4.1 Pemprosesan Data	116
4.4.1.1 Pemprosesan Data Australis	118
4.4.1.2 Pemprosesan Data PhotoModeler	122
4.4.1.3 Proses Pengukuran Data Perisian <i>Scene</i>	124
4.5 Fasa Keempat	127
4.6 Rumusan Bab	127
5	HASIL DAN ANALISIS
5.1 Pendahuluan	129
5.2 Analisis Peringkat Pertama Kajian	130
5.2.1 Analisi Parameter Kalibrasi Kamera	131
5.2.2 Analisi Pengukuran Reja, Ketepatan dan Kejituan	138
5.2.3 Analisi Ciri <i>Stochastic</i>	142
5.2.4 Analisi Pengukuran Jarak	146
5.2.5 Analisi Perbandingan Perisian	153
5.3 Analisis Peringkat Kedua	158
5.4 Rumusan Bab	169
6	KESIMPULAN DAN CADANGAN
6.1 Pendahuluan	170
6.2 Kesimpulan	171
6.3 Cadangan	174
BIBLIOGRAFI	176
LAMPIRAN	
Lampiran A – D	191

SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
1.1	Metodologi Kajian	9
2.1	Proses perolehan data yang melibatkan pengambilan imej udara	14
2.2	Contoh pemprosesan data menggunakan perisian fotogrametri jarak dekat.	14
2.3	Imej udara, (a) Pengambilan imej udara, (b) Imej udara sesuatu kawasan	15
2.4	Imej bagi fotogrametri bumi.	16
2.5	Imej satelit.	17
2.6	Kaedah Analog.	18
2.7	Kaedah Analitik.	18
2.8	Kaedah Digital	19
2.9	Penggunaan fotogrametri jarak dekat.	21
2.10	Geometri bagi syarat kekolineran bumi	24
2.11	Tiga urutan putaran yang berputar pada asalan	26
2.12	Proses pengukuran bagi kereta dan tayar	28
2.13	Cerapan imej bagi objek kapal terbang dan bot	28
2.14	Penggunaan fotogrametri jarak dekat dalam pengukuran dimensi kereta.	29
2.15	Kaedah fotogrametri jarak dekat dalam bidang industri automobil	31

2.16	Kaedah fotogrametri jarak dekat bagi kajian objek bergerak.	31
2.17	Penggunaan fotogrametri jarak dekat dalam pembinaan bahan logam.	32
2.18	Pengukuran koordinat kereta Nissan bagi tujuan semakan	33
2.19	Contoh imej dan model kenderaan Pajero.	34
2.20	Penggunaan fotogrametri jarak dekat bagi pembinaan kapal laut	35
2.21	Fotogrametri jarak dekat yang digunakan dalam bidang perubatan	37
2.22	Kaedah fotogrametri jarak dekat dalam bidang forensik.	37
2.23	Kaedah fotogrametri jarak dekat dalam bidang Senibina.	38
2.24	Penggunaan fotogrametri jarak dekat dalam bidang kejuruteraan.	39
2.25	Luas pandangan objek bagi sesebuah kamera yang digunakan.	40
2.26	Kamera metrik tunggal (Phototheodolite Wild P30 dan Wild P32)	42
2.27	Kamera stereometrik (a) Axios 3-D CamBar dan (b) Zeiss SMK40	42
2.28	Kamera Metrik Digital - INCA 3	44
2.29	Kamera Metrik Digital - Rollei	44
2.30	Kamera bukan metrik	46
2.31	Menunjukkan skema imej digital	49
2.32	Cara kamera digital berfungsi	51
2.33	CCD yang terdapat dalam sesebuah kamera digital	52
2.34	Foto penerima jenis (a) CCD (charged coupled device) dan (b) CMOS (complementary metal oxide semiconductor).	53

3.1	Orientasi dalaman	63
3.2	Jenis imej (a) Imej tanpa herotan, (b) Herotan <i>pincushion</i> dan (c) Herotan <i>barrel</i>	66
3.3	Sistem kanta	68
3.4	Bingkai kalibrasi bagi kaedah <i>analytical plumb-line</i>	72
3.5	Kedudukan kamera pada kedudukan normal dan 90°	74
3.6	Bilangan titik sasaran dan taburan menyeluruh dalam pengukuran	75
3.7	Proses pelarasan blok ikatan bagi mendapatkan koordinat titik serta orientasi kamera	78
3.8	Kedudukan kamera bagi perolehan data untuk tujuan pelarasan blok ikatan	78
3.9	Bingkai kalibrasi	80
3.10	Sasaran yang biasa digunakan iaitu (a) Sasaran Pantulan-Retro dan (b) Sasaran Biasa	81
3.11	Sasaran Pantulan-Retro dengan pelbagai saiz	82
3.12	Set palang skala yang digunakan.	84
3.13	Prinsip Persilangan Teodolit	88
4.1	Bingkai kalibrasi 40cm x 40cm	95
4.2	Bingkai kalibrasi 138cm x 81.5cm	96
4.3	Model kereta Persona yang diletakkan di atas bingkai kalibrasi	96
4.4	Model kereta Persona yang digunakan	97
4.5	Kereta Persona sebenar yang digunakan	98
4.6	Kamera yang digunakan; (a) Rollei Metrik d30, (b) Nikon D60 dan (c) Nikon Coolpix S560	99
4.7	Alat <i>Total Station</i> jenis Leica TCA 1103	101
4.8	Pengimbas Laser jenis Faro Focus3D	103
4.9	<i>Target</i> berbentuk sfera bagi penggunaan Faro Focus3D	103

4.10	Prosidur pengukuran titik objek bagi perisian Australia	105
4.11	Prosidur pengukuran bagi perisian PhotoModeler	107
4.12	Proses cerapan data kereta Persona	110
4.13	Proses pengimbasan laser bagi model kereta Persona	112
4.14	Proses pengimbasan laser bagi kereta Persona sebenar	112
4.15	Imej dari sudut pandangan berbeza bagi bingkai kalibrasi	114
4.16	Imej dari sudut pandangan berbeza bagi model kereta Persona	115
4.17	Imej dari sudut pandangan berbeza bagi kereta Persona sebenar	115
4.18	Nilai parameter kalibrasi kamera yang diperlukan	119
4.19	Kedudukan kamera dan bingkai kalibrasi dalam perisian Australia	119
4.20	Paparan point cloud model kereta Persona (1: 4) dalam perisian Australia	120
4.21	Paparan point cloud kereta Persona sebenar dalam perisian Australia	120
4.22	Contoh pengukuran yang dilakukan ke atas model kereta Persona	121
4.23	Parameter kalibrasi kamera	123
4.24	Paparan tiga dimensi bagi kalibrasi kamera digital menggunakan perisian PhotoModeler	123
4.25	Paparan imej model kereta Persona dalam perisian Scene	125
4.26	Model 3D bagi model kereta Persona yang dihasilkan dari perisian Scene	125

4.27	Paparan imej kereta Persona sebenar dalam perisian <i>Scene</i>	126
4.28	Model 3D bagi kereta Persona sebenar yang dihasilkan dari perisian <i>Scene</i>	126
5.1	Graf perbandingan nilai jarak fokus kamera	132
5.2	Taburan bagi nilai titik utama ketiga-tiga kamera digital	133
5.3	Graf perbandingan nilai kejutuan jaringan bagi kamera digital	142
5.4	Graf bagi nilai pengukuran bingkai kalibrasi 40cm x 40cm	146
5.5	Graf bagi perbandingan nilai pengukuran garis semakan bingkai kalibrasi 40cm x 40cm	147
5.6	Graf bagi nilai pengukuran bingkai kalibrasi 138cm x 81.5cm	148
5.7	Graf bagi perbandingan nilai pengukuran garis semakan bingkai kalibrasi 138cm x 81.5cm	149
5.8	Graf perbandingan jarak fokus bagi perisian	153
5.9	Graf perbandingan taburan nilai titik utama bagi kedua-dua perisian	154
5.10	Paparan garisan semakan bagi pengukuran kereta	159
5.11	Graf bagi nilai pengukuran garis semakan model kereta Persona	160
5.12	Graf bagi perbandingan nilai pengukuran garis semakan model kereta Persona	161
5.13	Graf bagi nilai pengukuran garis semakan kereta Persona sebenar	162
5.14	Graf bagi perbandingan nilai pengukuran garis semakan kereta Persona sebenar	163

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Spesifikasi kamera metrik digital Rollei	45
2.2	Contoh spesifikasi bagi kamera bukan metrik	47
2.3	Perbezaan Kamera Metrik dengan Kamera Bukan Metrik	47
2.4	Perbezaan diantara format RAW,TIFF dan JPEG.	55
3.1	Prinsip pengukuran pengimbas laser.	86
4.1	Spesifikasi bagi kamera digital	100
5.1	Parameter kalibrasi kamera bagi kamera digital Nikon D60	134
5.2	Parameter kalibrasi kamera bagi kamera digital Nikon Coolpix S560	135
5.3	Parameter kalibrasi kamera bagi kamera digital Rollei Metrik d30	136
5.4	Perbandingan nilai jarak fokus dan titik utama bagi kamera digital	137
5.5	Nilai Pengukuran Reja, Ketepatan dan Kejituan Nikon D60	139
5.6	Nilai Pengukuran Reja, Ketepatan dan Kejituan Nikon Coolpix S560	140
5.7	Nilai Pengukuran Reja, Ketepatan dan Kejituan Rollei d30	141

5.8	Nilai Perbandingan Ciri <i>Stochastic</i> bagi Nikon D60	143
5.9	Nilai Perbandingan Ciri <i>Stochastic</i> bagi Nikon Coolpix S560	144
5.10	Nilai Perbandingan Ciri <i>Stochastic</i> bagi Rollei d30	145
5.11	Perbandingan Nilai Pengukuran Bingkai Kalibrasi 40cm x 40cm	151
5.12	Perbandingan Nilai Pengukuran Bingkai Kalibrasi 138cm x 81.5cm	152
5.13	Nilai Parameter Kalibrasi Kamera Perisian PhotoModeler bagi Kamera Digital Nikon D60	156
5.14	Nilai Parameter Kalibrasi Kamera Perisian Australis bagi Kamera Digital Nikon D60	157
5.15	Garisan Semakan bagi pengukuran kereta	159
5.16	Pengukuran bagi model kereta Persona Skala 1:4	165
5.17	Pengukuran bagi kereta Persona sebenar	167

SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	MUKA SURAT
A	Prosedur bagi pemprosesan imej digital menggunakan perisian Australis	190
B	Hasil parameter kamera dan pelarasan ikatan bagi proses kalibrasi kamera menggunakan perisian Australis menggunakan kamera digital Nikon D60	201
C	Hasil parameter kamera dan pelarasan ikatan bagi proses kalibrasi kamera menggunakan perisian Australis menggunakan kamera digital Nikon Coolpix S560	210
D	Hasil parameter kamera dan pelarasan ikatan bagi proses kalibrasi kamera menggunakan perisian Australis menggunakan kamera digital metrik Rollei	219

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pendahuluan

Fotogrametri ditakrifkan sebagai satu kajian ilmu sains, seni atau teknik pengukuran yang dibuat ke atas imej fotograf (udara atau bumi) yang diambil dengan menggunakan kamera metrik atau kamera bukan metrik. Menurut Fryer (1996a), fotogrametri ditakrifkan sebagai sains dan seni dalam menentukan saiz dan bentuk objek sebagai hasil yang diperolehi dari analisis ke atas imej yang direkod sama ada di atas filem atau media elektronik.

Definisi fotogrametri yang paling popular digunakan adalah definisi yang diberikan oleh Slama (1980) yang mana beliau mentakrifkan fotogrametri sebagai

seni, sains dan teknologi dalam pengumpulan maklumat sebenar berkaitan objek fizikal dan alam sekitar melalui proses merekod imej, pengukuran keatas imej dan penterjemahan imej fotograf yang lebih dikenali sebagai pola perekodan tenaga sinaran elektromagnet.

Perkataan sains dalam takrifan fotogrametri adalah penting kerana bidang ini melibatkan penggunaan prinsip matematik, fizik, kimia dan pengetahuan tentang aplikasinya manakala perkataan seni digunakan kerana hasil yang terbaik hanya dapat diperolehi daripada imej yang sesuai dengan menggunakan kemahiran mengambil gambar (Fryer, 1996a).

Berdasarkan kepada takrifan yang dinyatakan di atas, ia menunjukkan bahawa fotogrametri merupakan satu kaedah pengukuran yang menggunakan fotograf sebagai perolehan data. Fotogrametri juga dapat diklasifikasikan kepada tiga bahagian iaitu fotogrametri udara (*aerial photogrammetry*), fotogrametri bumi (*terrestrial photogrammetry*) dan juga fotogrametri angkasa (*remote sensing*). Fotogrametri udara melibatkan fotograf yang diambil dengan kamera metrik yang diletakkan diperut kapalterbang manakala fotogrametri bumi pula melibatkan fotograf yang diambil di atas bumi dengan menggunakan kamera metrik atau kamera bukan metrik. Bagi fotogrametri angkasa pula ia melibatkan fotograf yang diperolehi dari alat penderia jarak jauh seperti penderia multi-spectral (Anuar Ahmad, 2005).

Terdapat pelbagai aplikasi yang menggunakan teknologi fotogrametri jarak dekat pada masa kini antaranya ialah bidang industri, perubatan, kejuruteraan, ukur deformasi, dan senibina. Kaedah fotogrametri jarak dekat ini juga boleh digunakan bagi pengukuran objek tiga dimensi (3D) yang banyak diaplikasikan di dalam bidang perindustrian (Gruen, 1996). Dengan berkembangnya teknologi mikro-eletronik, fotogrametri juga mengalami anjakan kearah penggunaan teknologi digital. Penggunaan kamera digital dan perkakasan komputer yang berteknologi tinggi telah menjadikan kaedah fotogrametri ini mudah diaplikasikan di dalam pelbagai bidang terutamanya bidang perindustrian. Selain itu, sistem perolehan data dan pemprosesan

data secara digital diperkenalkan dan telah mendapat sambutan yang memberansangkan di kalangan ahli fotogrametri (Luhmann, 2010).

Kaedah fotogrametri jarak dekat ini terus berkembang dan mampu menyediakan prosidur bagi pengukuran objek tiga dimensi (3D) yang lebih jitu dan efisien. Kaedah ini mula berkembang pesat dengan bermulanya penggunaan kamera metrik digital yang dikhususkan bagi aplikasi perindustrian, serta pengukuran imej yang boleh dilaksanakan secara automatik dan pemprosesan data menggunakan komputer peribadi (Fraser, 2002).

Penggunaan fotogrametri jarak dekat diaplikasikan dalam bidang perindustrian lebih tertumpu kepada penggunaan sistem yang pantas dan cepat serta mempunyai ketepatan yang tinggi (Gruen, 1996). Aplikasi perindustrian yang dapat memanfaatkan penggunaan fotogrametri jarak dekat ini antaranya adalah untuk pemeriksaan ketepatan pengukuran bagi pembuatan kapal terbang, pengukuran model kenderaan bagi tujuan pembuatan kereta dan juga pengukuran dalam pembuatan robot (Fraser, 1996).

1.2 Pernyataan Masalah

Fotogrametri jarak dekat telah berjaya diaplikasikan dalam bidang perindustrian pada pertengahan 1980-an secara teknikal dan ekonomi. Ini adalah ekoran daripada kejayaan pertama kaedah tersebut dalam mendapatkan hasil nilai pengukuran tiga dimensi (3D) secara automatik dan berketepatan tinggi (Fraser dan Brown, 1986). Dengan menggunakan kamera analog berformat besar, konfigurasi pelbagai imej dan pemprosesan digital bagi imej yang diimbias, maka kaedah

fotogrametri jarak dekat ini dapat memberikan ketepatan pengukuran sehingga 1:500,000 bagi objek berdimensi besar. Terutama sekali objek yang berdiameter melebihi 10m dengan bilangan titik sasaran yang banyak. Maka dapat dilihat kaedah fotogrametri jarak dekat ini dapat menandingi penggunaan teodolit dalam proses pengukuran, seterusnya menjadikan kaedah tersebut sebagai satu piawaian bagi pengukuran objek 3D yang kompleks (Luhmann, 2010).

Seiring dengan perkembangan kamera digital yang dapat menghasilkan imej digital secara langsung telah menyumbang kepada konsep baru dalam kaedah fotogrametri jarak dekat iaitu sistem fotogrametri secara luar-talian (off-line). Sistem tersebut dapat diaplikasikan dengan menggunakan kamera digital SLR beresolusi tinggi yang mempunyai kanta bersudut luas, titik sasaran pantulan-retro dan perisian bagi pengukuran titik imej yang bersaiz subpiksel yang mampu melaksanakan pengukuran objek 3D menggunakan kaedah pelarasan blok ikatan dalam *self-calibration* (Brown dan Dold, 1995). Memandangkan sistem ini merupakan satu kaedah pengukuran secara automatik sepenuhnya, maka ianya dapat dilaksanakan oleh pengendali yang kurang mahir. Perolehan data dan pemprosesan data juga boleh dilakukan di lokasi yang berbeza, pada masa yang berlainan serta oleh pengendali yang berlainan (Luhmann, 2010).

Berkembangnya bidang fotogrametri jarak dekat dan penggunaan kamera digital secara meluas serta perisian yang memudahkan proses pengukuran dilakukan telah menjadi pemangkin kepada kaedah ini untuk diaplikasikan dalam pelbagai bidang di Malaysia terutamanya dalam bidang perindustrian dan perubatan. Penggunaan imej digital dalam proses pengukuran serta penggunaan teknik pemusatan telah menjadi faktor kepada kebanyakan pengguna yang bukan terdiri daripada ahli fotogrametri untuk mengaplikasikan kaedah fotogrametri jarak dekat ini. Kewujudan kamera digital beresolusi tinggi di pasaran dan boleh diperolehi dengan harga yang murah telah menyokong penggunaan kaedah fotogrametri jarak dekat secara meluas (Fraser, 2004).

Proses pengukuran imej digital menggunakan kaedah fotogrametri jarak dekat ini sepatutnya menjadi dorongan dan sokongan kepada pihak yang berkenaan. Ianya juga haruslah dapat dimanfaatkan bagi memudahkan pengendalian pengukuran yang terlibat di dalam semua bidang. Penggunaan kaedah fotogrametri jarak dekat ini dilihat lebih sesuai dan efektif bagi tujuan pengukuran objek-objek yang kompleks. Pengukuran objek yang boleh dilakukan melalui kaedah ini antaranya adalah pengukuran bagi model kereta, helikopter, kapal laut, bas dan juga bangunan (Khairil Afendy Hashim, 2009). Penggunaan kaedah fotogrametri jarak dekat ini juga dapat menjimatkan masa, kos, dan tenaga serta dapat menghasilkan nilai pengukuran yang berketepatan tinggi (Luhmann, 2010).

Sebelum kamera digital digunakan untuk pengambilan imej bagi tujuan pengukuran, proses kalibrasi kamera perlu dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter kamera yang digunakan. Parameter kamera yang perlu diketahui terdiri daripada nilai jarak fokus, koordinat titik utama, herotan jejarian dan juga herotan pemusatan kanta (Fryer, 1989). Bingkai kalibrasi atau plat kalibrasi yang digunakan bagi tujuan pengukuran dalam kaedah fotogrametri ini, adalah merupakan suatu yang penting kerana ianya akan digunakan bagi tujuan proses kalibrasi kamera (Fazli Abdul Rahman, 2006).

Dengan perkembangan pesat dalam teknologi komputer, terdapat pelbagai perisian bagi tujuan kalibrasi kamera dipasaran pada masa kini yang dapat membantu di dalam proses kalibrasi kamera. Antara perisian yang popular pada masa kini yang digunapakai bagi proses kalibrasi kamera adalah seperti Australis, PhotoModeler, i-Witness, Pictran-B, Rollei CDW dan juga V-STAR. Setiap perisian kalibrasi kamera ini mempunyai keupayaan yang tersendiri dalam melaksanakan proses kalibrasi mengikut prosidur yang berbeza. Namun begitu, pada masa kini pengguna lebih menggemari perisian yang dapat memudahkan proses kalibrasi serta dapat memberikan nilai parameter bagi kamera yang digunakan dengan tepat dan jitu. Selain itu, masa dan mesra pengguna merupakan ciri-ciri yang paling penting yang diperlukan oleh pengguna.

Kajian ini dilaksanakan bagi mengetahui keupayaan kamera digital yang digunakan dalam kaedah fotogrametri jarak dekat serta menguji perisian kalibrasi yang dapat mempermudah dan melancarkan proses pengukuran, disamping mendapatkan nilai parameter kalibrasi kamera yang tepat. Selain itu, kajian ini juga dibuat bagi mengkaji ketepatan pengukuran menggunakan kaedah fotogrametri jarak dekat yang melibatkan aplikasi perindustrian.

1.3 Tujuan Kajian

Kajian ini dijalankan bagi menilai keupayaan penggunaan kaedah fotogrametri jarak dekat dalam melakukan pengukuran objek pelbagai bentuk dan saiz dalam bidang perindustrian.

1.4 Objektif Kajian

1. Mengkaji ketepatan nilai hasil kalibrasi kamera yang diperolehi dari perbandingan tiga jenis kamera dengan menggunakan perisian fotogrametri jarak dekat.
2. Menentukan ketepatan pengukuran tiga dimensi (3D) yang melibatkan aplikasi perindustrian menggunakan perisian fotogrametri jarak dekat.

1.5 Skop Kajian

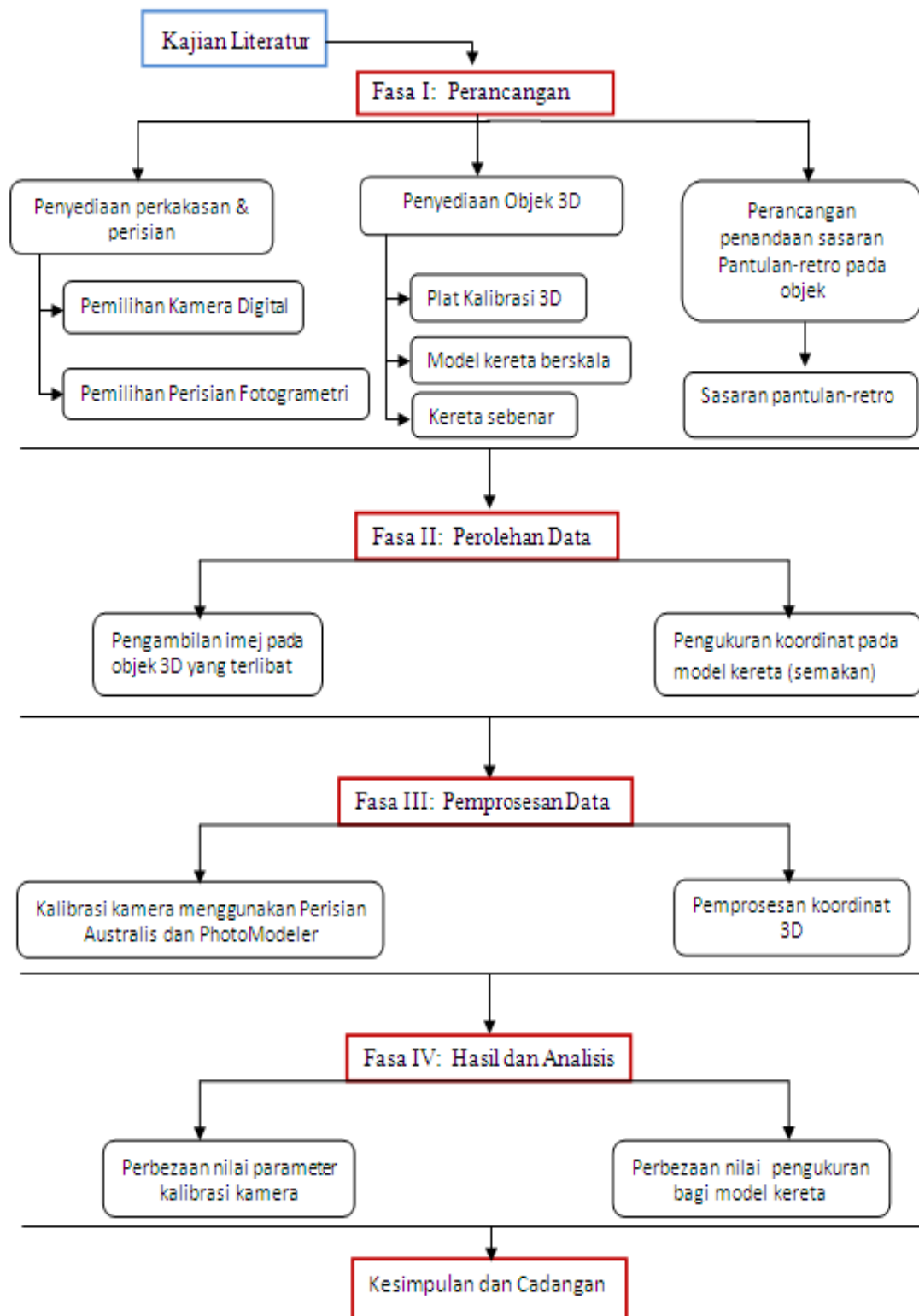
Kajian ini melibatkan penyelidikan berkaitan ketepatan nilai hasil kalibrasi kamera dan pengukuran menggunakan kaedah fotogrametri jarak dekat bagi aplikasi perindustrian.

Dalam kajian ini, kamera yang digunakan terbahagi kepada tiga iaitu kamera digital metrik, kamera digital SLR dan kamera digital kompak. Pada peringkat awal, setiap kamera digital ini diuji dari segi kestabilan dan ketepatan hasil parameter kalibrasi yang diperolehi dengan melakukan perbandingan diantara keduanya. Pemilihan kamera digital ini adalah berdasarkan kepada bilangan resolusi dan kestabilan serta ketepatan nilai parameter orientasi dalaman bagi kamera tersebut. Proses kalibrasi kamera dilaksanakan bagi tujuan mendapatkan nilai parameter kalibrasi bagi setiap kamera digital yang diuji. Proses kalibrasi ini dilakukan dengan menggunakan bingkai kalibrasi tiga dimensi (3D) yang telah dihasilkan bagi menepati keperluan kajian ini.

Kamera digital yang telah dipilih akan digunakan dalam melakukan perbandingan perisian fotogrametri jarak dekat pula. Terdapat dua perisian kalibrasi kamera yang diuji dari segi kestabilan dan ketepatan nilai parameter kalibrasi dengan melakukan perbandingan diantara keduanya juga. Seterusnya kamera digital dan perisian yang dapat memberikan nilai kestabilan dan ketepatan yang tinggi akan digunakan bagi menguji ketepatan pengukuran yang melibatkan objek kajian dalam aplikasi perindustrian. Kamera digital digunakan untuk pengambilan imej objek tersebut dan proses pengukuran pula dilakukan menggunakan perisian fotogrametri jarak dekat. Hasil yang diperolehi diuji serta disemak ketepatannya dengan melakukan perbandingan pengukuran dengan data semakkan iaitu data yang diperolehi dari kaedah pengukuran geodetik dan pengimbas laser.

1.6 Metodologi Kajian

Dalam pelaksanaan kajian ini, terdapat tiga proses penting yang perlu dilaksanakan iaitu proses perancangan, proses perolehan data dan proses pemprosesan serta analisis data. Penerangan terperinci berkaitan Rajah 1.1 akan diterangkan dalam Bab 4. Rajah 1.1 menunjukkan carta alir metodologi kajian bagi kajian ini.



Rajah 1.1: Carta Alir Metodologi Kajian

1.7 Kepentingan Kajian

Kajian ini penting dari segi penentuan keupayaan dan keberkesanan penggunaan kaedah fotogrametri jarak dekat menggunakan kamera digital dan juga perisian kalibrasi dalam pengukuran bagi aplikasi perindustrian terutamanya dalam pembuatan kereta. Dalam kajian ini, setiap kamera digital serta perisian yang digunakan diuji dan dibandingkan berdasarkan nilai ketepatan parameter kalibrasi dan nilai pengukuran. Hasil bagi kamera digital dan perisian yang terbaik akan digunakan pada peringkat seterusnya dalam pengukuran yang melibatkan objek kajian bagi aplikasi perindustrian.

1.8 Susun Atur Thesis

Tesis yang dihasilkan ini merangkumi enam bab secara keseluruhannya yang mana ianya dapat diringkaskan seperti dibawah:

Bab pertama merupakan bab yang mengandungi pengenalan kepada kajian yang dijalankan, tujuan dan objektif kajian, pernyataan masalah, skop kajian serta kepentingan kajian yang dilaksanakan.

Bab kedua pula adalah berkaitan dengan kajian literatur yang membincangkan perkara yang berkaitan dengan konsep yang terdapat di dalam fotogrametri jarak dekat. Selain itu juga, perbincangan tertumpu kepada penggunaan kamera yang mana ianya melibatkan penggunaan kamera metrik dan kamera bukan

metrik. Di dalam bab ini juga ada menyentuh konsep fotogrametri jarak dekat yang digunakan dalam beberapa bidang aplikasi. Aplikasi yang terlibat di dalam kajian ini adalah aplikasi perindustrian.

Bab ketiga membincangkan lebih lanjut berkaitan kalibrasi kamera. Di dalam bab ini, penerangan bagi konsep kalibrasi kamera, istilah yang digunakan, jenis kalibrasi kamera yang ada serta kaedah-kaedah yang digunakan bagi pelaksanaan kalibrasi kamera ditekankan bagi tujuan pemahaman kajian ini.

Bab keempat pula menerangkan metodologi kajian atau secara ringkasnya ia dikenali sebagai kaedah yang digunakan dalam kajian ini. Kaedah yang diterangkan secara amnya bermula dari proses pengumpulan data atau imej bagi objek kajian, proses menentukan titik koordinat, serta kaedah pemprosesan imej tersebut. Di dalam bab ini, penerangan juga merangkumi medan ujian atau bingkai kalibrasi yang dibina, perkakasan seperti kamera yang digunakan, perisian yang terlibat serta model aplikasi perindustrian yang digunakan.

Bab kelima memaparkan setiap hasil yang diperolehi bagi beberapa eksperimen yang dijalankan di dalam kajian ini. Analisis berkaitan kajian ini juga diterangkan secara keseluruhan di dalam bab ini.

Bab keenam merupakan kesimpulan yang dapat dibuat berdasarkan kepada keseluruhan eksperimen yang telah dilaksanakan dalam kajian. Selain itu, beberapa cadangan dibincangkan bagi memperbaiki beberapa kelemahan yang terdapat dalam kajian ini.

BIBLIOGRAFI

- Abdul Hamid Mohd Tahir (1990). "Asas Fotogrametri. Johor: Unit Penerbitan Akademik Universiti Teknologi Malaysia.
- Adams, L. P. & Klein, M. (1986). "Biostereometric Method For The Study Of Body Surface Motions Uring Breathing." ISPRS Commision V Symposium Ottawa, Canada, Vol.26.
- Ahn, S. J., Warnecke, H. J. & Kotowskis, R. (1999). "Systematic Geometric image Measurement Errors of Circular Object Targets: Mathematical Formulation and Correction." Photogrammetric Record, 16(93): 485-502.
- Ahmad Yusof Sahdan (2006). " Penggunaan Penyepadanan Imej Berdasarkan Kawasan Dalam Fotogrametri Jarak Dekat Bagi Pengukuran Permukaan Struktur". Universiti Teknologi Malaysia. Tesis Ijazah Sarjana (Kejuruteraan Awam).
- Anuar Ahmad & Zulkarnaini Mat Amin (1998). "Unsur-Unsur Fotogrametri." Penerbit Universiti Teknologi Malaysia.
- Anuar Ahmad & Chandler, J. H. (1999). "Photogrammetric Capabilities of The Kodak DC 40, DCS 420, and DCS 460 Digital Cameras." Photogrammetric Record, 16(94) : 601-615

Anuar Ahmad & Zulkepli Majid (2000). "Aplikasi Imej Digital Untuk Pengukuran Dan Permodelan." Kursus Pendek: CGIA & CIMES, FKSG, Universiti Teknologi Malaysia. 14- 16 November 2000.

Anuar Ahmad, Ibrahim Busu dan Ghazali Desa (2003). "Digital Close Range Photogrammetry: Calibration Of Different Sensor Using Different Test Field and Application". International Symposium on Geoinformation and Exhibition 2003, 13-14 Oktober 2003, Shah Alam, Selangor, Malaysia.

Anuar Ahmad (2005). "Analisis ke atas prestasi kamera digital kompak untuk aplikasi fotogrametri jarak dekat." Universiti Teknologi Malaysia : Thesis ijazah Doktor Falsafah (Kejuruteraan Geomatik).

Atkinson, K. B. (1989). "Instrumentation for Non-Topographic Photogrammetry." Virginia: American Society For Photogrammetry and Remote Sensing.

Atkinson, K.B (1996). "Close Range Photogrammetry and Machine Vision." Whittles Publishing, U. K.

Accurex (2011). "Automotive Safety Testng - 3D Measurement and Analysis of Crash Vehicles." In High accuracy 3-Dimensional measurement system. [<http://www.accurexmeasure.com/vehiclesafety.htm>]

Axios3D Services (2010). "Axios-3D CamBar". [<http://www.axios3d.de/>]

Baharin Ahmad (1999). "Automasi Ukur". Monograf, Universiti Teknologi Malaysia.

Beraldin, J.A., Blais, F. & Cournoyer, L. (2000). "Active 3D Sensing." Modelli E Metodi Per lo studio e la conservazione dell' architettura storica. NRC IIT. Canada.

- Boehler, W., Heinz, G. & Marbs, A. (2001). "The Potential of Non-Contact Close-Range Laser Scanner for Cultural Heritage Recording. CIPA Working Group VI.
- Boehler, W. & Marbs, A. (2002). "3D Scanning Instruments." CIPA WG Int. Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording.
- Boersma, S.M., Heuvel, F.A., Cohen, A.F. & Scholtens, E.M. (2000). "Photogrammetric Wound Measurement with A Three-Camera Vision System." International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing.
- Boochs, F. & Heinz, G. (1999). "Precise Target Location Using Image Matching Technique". Proceedings of the IASTED International Conference Signal and Image Processing, Nassau, Bahamas.
- Breithaupt, B. H., Matthews, N. A. & Noble, T. A. (2004). "An Integrated Approach To Three-Dimensional Data Collection At Dinosaur Tracksite In The Rocky Mountain West : Ichnos, Vol 11, P 11-26.
- Broers, H., Jansing, N. (2007). "How precise is navigation for minimally invasive surgery?" In International Orthopedics 31 (1), 39–42.
- Brown, D. C. (1984). "Tools Of The Trade." Proceedings of a workshop held as part of the American Society of photogrammetry, American Congress on Surveying & Mapping 1984 Fall Convention. September 9-14. Falls Church, Virginia: ASPRS, 227.
- Brown, D. J. (2004). "Photogrammetry's Digital Revolution." In Quality Digest, QCI International.
- Brown, J. & Dold, J. (1995). "V STARS: A system for digital industrial photogrammetry." In: Gruen, A., Kahmen, H. (Eds.), Optical 3D Measurement Techniques III. Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 12–21.

- Brown, K. D. (2004). "Photogrammetry method at The Utah Geological Survey:] From Field mapping to Publish Map." Digital Mapping Technique '04 : Workshop Proceeding.
- Clarke, T.A. (1994). "An Analysis of the Properties of Targets Uses in Dgital Close Range Photogrammetric Measurement."
- Clarke, T. A. & Fryer, J. G., (1998). "The Development of Camera Calibration Methods and Models." Photogrammetric Record.
- Clarke, T. A., Fryer, J.G. & Wang, X. (1998). "The Principal Point and CCD cameras." Photogrammetric Record.
- Clarke, T. A. & Wang, X. (1998). "Extracting High Precision Information From CCD Images." Optical methods and Data Processing for Heat and Fluid Flow, City University.
- Cooper, M. A. R. & Robson, S. (1996). "Introduction of Close range Photogrammetry." In Close Range Photogrammetry and Machine Vision. Scotland: Whittles Publishing, UK.
- Cooper, M.A.R. & Robson S. (1996). "Theory of Close Range Photogrammetry." In Close Range Photogrammetry and Machine Vision. Whittles Publishing, U.K.
- Curtin, P. D. (2011). "Image Sensor and Colors." In Sensors, Pixels and Image Sizes: Short Course.
- Creehan, K. D.& Bopaya, B. (2006). "Reverse Engineering: A Review & Evaluation of Non-Contact Based System." In A. K. Kamrani & E.A. Nasr (Eds.) Rapid Prototyping : Theory and Practice (87-106) : USA. Springer.
- Dallas, R. W. A. (1996). "Architectural and Archeological Photogrammetry." In Close Range Photogrammetry and Machine Vision." Whittles Publishing, U.K.

Disease In Childhood Journal (2007). "The Use Of 3D Face Shape Modelling In Dysmorphology".

Egan, G. (2002). "Comparison Of Industrial Measurement Technique." Australia: Science Of Surveying And Spatial Information System, The University Of New South Wales.

Eos Systems Inc. (2008). PhotoModeler Video Module. Canada: Software Manual.

Faig, W. (1976). "Photogrammetric Potentials of Non-Metric Cameras".
Photogrammetry Engineering and Remote Sensing.

Fangi, G., Fiori, F. Gagliardini, G. & Malinverni, E. S. (2001). "Fase and Accurate Close-range 3D Modelling By Laser Scanning System." XVIII International Symposium of CIPA 2001.

Fazli Abdul Rahman (2006). "Analisa Terhadap Rekabentuk Bingkai Kalibrasi Bagi Kamera Digital Untuk Fotogrametri Jarak Dekat." Universiti Teknologi Malaysia: Tesis Ijazah Sarjana Sains (Kejuruteraan Geomatik).

Fedak, M. (2010). "3D Measurement Accuracy of a Consumer-Grade Digital Camera and Retro-Reflective Survey Targets". Inspec Engineering Services. West Vancouver, BC, Canada.

Fraser, C. S. (1984). "Network Design Considerations for Non-Topographic Photogrammetry." Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.

Fraser, C. S & Brown, D.C. (1986). "Industrial Photogrammetry: New Developments and Recent Applications." Photogrammetry Record, 12(68): ms 197-217

Fraser, C. S. & Shortis, M. R. (1992). "Variation of Distortion within the photographic field." In Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 58(6): 851-855.

- Fraser, C. S. (1993). "A Resume Of Some Industrial Application Of Photogrammetry." *ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing*. 48 (3), P 12-23.
- Fraser, C. S., Shortis, M. R., and Ganci, G. (1995). "Multi Sensor System Self-Calibration." In *SPIE Conference 2598, Videometrics IV*, Philadelphia, USA.
- Fraser, C.S. (1996). "Indusrial Measurement Applications." In *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Scotland: Whittles Publishing, UK
- Fraser, C. S. (1997). "Digital Camera Self-calibration." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.
- Fraser, C. S. & Edmundson, K. L. (2000). "Design and Implementation of a Computational Processing System for Off-Line Digital Close Range Photogrammetry. University of Melbourne, Australia.
- Fraser, C. S. (2002). "Automated close range photogrammetry: New developments and applications." *International Symposium and Exhibition on Geoinformation 2002*. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Fraser, C. S. (2003). "V-STARS Photogrammetry System." University Melbourne.
- Fraser, C. S. & Brizzi, D. (2003). "Photogrammetric Monitoring And Structural Deformation : The Federation Square Atrium Project." *Optical 3-D Measurement Techniques VI, Volume II*, pp. 89–95.
- Fraser, C.S. (2004). "Developments in Close Range Photogrammetry for 3D Modeling : The iWitness Example." *International Workshop: Processing & Visualization using High-Resolution Imagery, Thailand*, 18-20 November.

Fraser, C.S., Woods, A. & Brizzi, D. (2005). "Hyper redundancy for accuracy enhancement in automated close range photogrammetry." *The Photogrammetric Record* 20 (111), 205–217.

Fraser, C. S. & Al-Ajlouni, S. (2006). "Zoom-Dependent Camera Calibration in Digital Close-range Photogrammetry". *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* Vol. 72, No.9, September 2006, pp. 1017 - 1026.

Fraser, C. S., Cronk, S. & Hanley, H. (2008). "Close range Photogrammetry for Accident Reconstruction." *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, XXXVII.

Fraser, C. S. "Close range Photogrammetry for National Security (2.08)"
[\[http://www.crcsi.com.au/\]](http://www.crcsi.com.au/)

Frochlich, C. & Mettenleiter, M. (2004). "Terrestrial Laser Scanning - New Perspectives in 3D Surveying." *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVI - 8/W2.

Fryer, J. G. (1989). "Camera Calibration In Non-Topographic Photogrammetry." In *Non-Topographic Photogrammetry*. Virginia: American Society For Photogrammetry and Remote Sensing.

Fryer, J. G. (1996a). "Introduction." In *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Scotland: Whittles Publishing, UK.

Fryer, J. G. (1996b). "Camera Calibration." In *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Scotland: Whittles Publishing, UK.

Forensic Application In PhotoModeler (2010).
[\[http://www.photomodeler.com/applications/default.htm\]](http://www.photomodeler.com/applications/default.htm)

- Gayde, J.C., Humbertcalude, C. & Lasseur, C. (1997). "Prospects of Close Range Digital Photogrammetry in Large Physics Installations." Fifth International Workshop on Accelerator Alignment, Chicago, USA.
- Ghosh, S. K. (1989). "Electron Microscopy: System and Application." In Non-Topographic Photogrammetry. Virginia: American society for Photogrammetry & Remote Sensing, pp 187-201.
- Grcoatley (2002). "How a digital camera works."
[http://www.grcoatley.mcc.education.nsw.gov.au/ipt_website/02_tools/tools.htm]
- Gruen, A. & Beyer, H. A. (1992). "System Calibration Through Self-Calibration." Workshop on "Camera Calibration and Orientation In Computer Vision." XVII ISPRS Congress, Washington D.C.
- Gruen, A.(1994). "Digital Close Range Photogrammetry-Process Through Automation." International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 30(5) : ms 87-91
- Gruen, A. (1996). "Introduction." dlm. Atkinson, K.B. Close Range Photogrammetry and Machine Vision. Whittles Publishing, Caithness, Scotland, U.K.: ms 78-104
- Grist, M. W. (1991). "Close Range Measurement Using Electronic Theodolite System, Photogrammetric Record, 13, 77, 1992, pp 721-728.
- GSI. (2006). Geodetic Services, Inc. V-STARS. [<http://www.geodetic.com>]
- Habib, A. F., Morgan, M. & Lee, Y. R. (2002). " Bundle Adjustment With Self-Calibration Using Straight Line." In Photogrammetric Record, 17(100), pp 635-650.
- Hanggren, H. (2001). "Support for Data Acquisition." In Photogrammetry Special Applications.

- Hanke, K. & Grussenmeyer, P. (2002). "Architectural Photogrammetry: Basic Theory, Procedure and Tools." In Digital Photogrammetry, pp 300-339.
- Hughes, D., Fricker, P., Chapuis, A., Traversari, E. (2004). "The Development of Photogrammetry In Switzeland".
- Ipf (2003). "Introduction Photogrammetry."
[<http://www.ipf.tuwien.ac.at/fr/introduction/introduction1.htm>1.20Introduction]
- Jiang, R & Jauregui, D. (2010). "Development Of A Digital Close Range Photogrammetry Bridge Deflection Measurement System." In Measurement, Vol. 43, Pp 1431- 1438.
- Jian Xu, Fang, Z.P., Malcom, A., Wang, H. (2001). " A Robust Close-range Photogrammetry System for Industrial Metrology". Machine Vision and Sensor Group, Nanyang Teknological University, Singapore.
- Johanning, G. (2005). " Photogrammetry Provides Perfect Accuracy." In Quality Digest, QCI International.
- Karara, H. M. (1989). "Non – Topographic Photogrammetry." Virginia: America Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Kassa, C. (2009). " Understanding Colors." In RGB World, Inc.
- Khairil Afendy Hashim (2009). "Penilaian Kesesuaian Kaedah Fotogrametri Digital Jarak Dekat Untuk Pengukuran Objek Tiga Dimensi". Universiti Teknologi Malaysia. Tesis Ijazah Sarjana Sains (Kejuruteraan Geomatik).
- Li, C. & King, B. (2002). " Close-range Photogrammetry for the Structural Monitoring of the Star Ferry Colonnade". Journal of Geospatial Engineering, Vol.4, No.2, pp. 135-143.

- Luhmann, T. & Robson, S. (2008). "Industrial application of photogrammetry." Advance in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. ISPRS Congress Book, pg 413-424.
- Luhmann, T. (2010). "Close range Photogrammetry for Industrial Application." ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol 65, pp 558-569.
- Maas, H. G. & Hampel, U. (2007). "Photogrammetric Technique In Civil Engineering Materials Testing And Structure Monitoring." American Society For Photogrammetry And Remote Sensing Publication Journal.
- Mancuso, M. (2001). "Image Processing dor Digital still Camera." Journal of System Research, 2 (2): 1-9
- Mapping Constuction Machine, 2011
- Matsuoka, R., Yokotsuka, N. & Sone, M.(2006). " Experiment On Precision Of Camera Calibration Of Non-Metric Digital Camera." ISPRS Commision V, WG V/I, Vol. XXXVI, Dresden.
- Matthews, N. A. & Breithaupt, B. H. (2001). "Close Range Photogrammetry Experiments At Dinosaur Ridge". In Mountain Geologist, V 38-3, P 147-153
- Maurice, C. (1989). "An Introduction To Non-Topographic Photogrammetry." In Non Topographic Photogrammetry. Virginia: America Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- McGlone, J. C. (1989). "Analytical Data Redustion Schemes." In Non-Topographic Photogrammetry. 2nd Edition: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Mikhail, E. M., Bethel, J. S. & McGlone, J. C. (2001). "Introduction To Modern Photogrammetry." New York: John Wiley & Sons, Inc.

- Mohd Farid Mohd Arif (2005). "Pembangunan Sistem Perolehan Imej Fotogrametri Digital Jarak Dekat Bagi Pengukuran Craniofacial". Universiti Teknologi Malaysia: Tesis ijazah Sarjana Sains (Kejuruteraan Geomatik).
- Mohd Sharuddin Ibrahim (2004). "Pengukuran dan Permodelan Tiga Dimensi Berkejituan Tinggi Menggunakan Fotogrametri Jarak Dekat (V-STARS)". Universiti Teknologi Malaysia. Tesis Sarjana Sains (Ukur Industri).
- Morrison, R. (2006). "Photogrammetry Dispels The Notion Of Pristine Conditions For Precise Data Acquisition." Article From Quality Digest, QCI International.
- Mushairry Mustaffar (1997). " Accuracy Improvement in Area-Based Image Matching for Automated Surface Measurement in Digital Photogrammetry." Phd. Thesis. University of Newcastle, New South Wales, Australia.
- Mushairry Mustaffar (2000). "Kursus Pendek Aplikasi Imej Foto Digital Untuk Pengukuran dan Permodelan".CGIA & CIMES, FKSG, Universiti Teknologi Malaysia.
- Nayegandhi, A. (2010). "Definition of High Resolution Northern Gulf Coast Geomorphology." Jacobs Tech, Inc. USGS St. Petersburg Coastal & Marine Science Center, St Petersburg, Florida
- Newton, I. & Mitchell, H. L. (1996). "Medical Photogrammetry" In Close-Range Photogrammetry and Machine Vision. Scotland: Whittles Publishing, UK.
- Parian, J.A., Grün, A., Cozzani, A. (2006). "High accuracy space structures monitoring by a close-range photogrammetric network." International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 36 (Part 5), 236–241.

Parmehr, E. G. & Azizi (2004). "A Comparative Evaluation of Close Range Photogrammetry Technique for 3D Measurement of The Body of a Nissan Patrol Car" University of Tehran, Iran.

Peipe, J. & Tecklenburg, W. (2006). "Photogrammetric Camera Calibration Software – A Comparison." ISPRS Proceedings Commission V, WG/I, Dresden.

Photarc Surveys (2009). "Rollei Metric : UK Agent for RolleiMetric Product."
[<http://www.photarc.co.uk/rollei.htm>]

Photometrix (2004). "Australis User Manual." Australia: Software Manual.

Pronal Elastomer Engineering, (2011). "Composite Manufacturing."
[<http://www.pronal.com>]

Rampal, K. K. (1999). "Introduction" In Handbook of Aerial Photography and Interpretation. New Delhi: Concept Publishing Company.

Remondino, F. & Fraser, C. (2006). "Digital Camera Calibration Method: Consideration and Comparison". ISPRS Commission V Symposium 'Image Engineering and Vision Metrology'.

Robson, S., Clarke, T.A. & Chen, J. (1993). "The Suitability of the Pulnix TM[^]CN CCD Camera for Photogrammetric Measurement." SPIE. 2067, Videometrics II: 66-77.

Shashi, M. & Jain, K. (2007). "Use Of Amateur Camera In Architectural Photogrammetry." Hyderabad, India: Map World Town Proceeding.

Shortis, M. R. & Beyer, H.A. (1997). "Calibration Stability of the Kodak DCS420 and 460 Cameras." Videometrics V. SPIE. 3174: 99-105

- Shortis, M. R., Robson, S. & Beyer, H. A. (1998). "Principal Point Behaviour And Calibration Parameter Models for Kodak DCS Cameras." *Photogrammetric Record*, 16(92): 165-186.
- Shortis, M. R., & Fraser, C. S. (1998). "State of The Art of 3D Measurement System for Industrial and Engineering Application". University of Melbourne, Australia.
- Slama, C.C. ed. (1980). "Manual of Photogrammetry." 4th ed. Virginia, USA: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing.
- Smith, M.J. & Park, D.W.G. (1999). "Toward a New Approach for Absolute and Exterior Orientation." *Photogrammetric Record*, Vol. 16 (94), pp. 617-623.
- Smith, P. & Harvey, B. R. (2006). " Boat Hull Modelling Using Terrestrial Laser Scanners." University of New South Wales.
- Streilein, A., Hanke, K. & Grussenmeyer, P. (2000) . First Experiences With The "Zurich City Hall" Data Set Architectural Photogrammetry. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*.
- Satellite Image. [<http://www.nationalatlas.gov/>]
- Scientific & Engineering Applications in PhotoModeler (2010).
[<http://www.photomodeler.com/applications/default.htm>]
- Teledyne Dalsa (2010). " CCD and CMOS Sensor." *Image Sensor Solution*.
[<http://www.teledynedalsa.com/sensors/>]
- Triggs, B., McLauchlan, P. F., Hartley, R.I. & Fitzgibbon, A. W. (2000). "Bundle Adjustment- Modern Synthesis." *Vision Algorithm '99, LNCS*, pp 298-372.
- UNSW Surveying Instrument Collection (2000). "Metric Camera." University of New South Wales.

- Vandome, N. (2002). " Digital Photography." Third Edition. England: Computer Step Southfield Road. 10, pp.17-24
- Whiteman, T., Lichti, D. D. & Chandler, I. (2002). " Measurement of Deflection in Concrete Beams by Close-range Digital Photogrammetry." Symposium on Geospatial Theory, Processing and Application, Ottawa.
- Wolf, P.R. (1974). "Elements of Photogrammetry." First Edition. McGraw-Hill, U.S
- Wolf, P.R. (1983). "Elements of Photogrammetry." Second Edition. McGraw-Hill, U.S.
- Wolf, P.R. & Dewitt, B.A. (2000). "Elements of Photogrammetry With Application in GIS." Third Edition. McGraw-Hill, U.S.
- Zulkepli Majid (1999). "Kalibrasi Kamera Video Menggunakan Kaedah Direct Linear Transformation (DLT)." Universiti Teknologi Malaysia: Tesis Sarjana.